تأثیر خروج از مرکزیت درون صفحه‌ای اتصال اعضای مهاربندی به تیر و ستون بر عملکرد قاب‌های فولادی*

(یادداشت پژوهشی)

حامد بلندی[۱] سید مهدی زهرائی[۲]

چکیده یکی از معضلات اساسی در وضعیت ساخت و ساز عدم رعایت دقیق مقررات لرزه‌ای است. مطابق با آیین‌نامه‌های متداول ساختمانی، راستای مهاربندی باید از محل تقاطع میان تار تیر و ستون عبور کند؛ اما متأسفانه در بسیاری از ساختمان های فولادی در حال اجرا مشاهده می‌شود که مهاربندها اگر چه در صفحه‌ی میانی قاب قرار دارند، اما به صورت خارج از مرکز در محل اتصال اجرا می‌شوند.واضح است که یکی از عوامل مؤثر در عملکرد مهاربندها شرایط اتصال آن‌ها می‌باشد. در این رابطه، این مقاله خروج از مرکزیت درون صفحه‌ای در قاب‌های دارای مهاربند قطری را به روش اجزای محدود غیر خطی توسط نرم افزار *ANSYS* مورد بررسی قرار داده‌است. در این بررسی مشاهده شد که حاشیه‌ی اطمینانی برای عدم رعایت قوانین آیین‌نامه در قاب‌های دارای خروج از مرکزیت درون صفحه‌ای عبوری از تیر وجود دارد؛ اما در خروج از مرکزیت درون صفحه‌ای عبوری از ستون هیچ گونه حاشیه اطمینان و منطقه‌ای امن برای عدم رعایت قوانین آیین‌نامه مشاهده نشد. نمونه‌ها نیز با ایجاد کوچکترین خروج از مرکزیت، عملکرد نامناسبی نشان دادند. در انتها راه‌کارهایی برای کاهش اثرات خروج از مرکزیت نامطلوب ارائه شده‌است.

واژه‌های کلیدی خروج از مرکزیت درون صفحه‌ای ، اتصالات مهاربندی، عملکرد قاب‌های فولادی، تحلیل استاتیکی غیر خطی.

Influence of In-Plane Eccentricity in Connection of Bracing Members to Columns and Beams on Performance of Steel Frames

H. Bolandi S. M. Zahrai

Abstract *Steel structures are usually built with some defects. According to the standard building codes, the central axes of the bracing members should go through the beam-column joints, However, in most of the braced steel structures, bracing members are unintentionally connected eccentrically. This paper presents a numerical investigation on performance analysis of CBFs (Concentrically Braced Frames) having unwanted in-plane eccentricities at the connection of their braces. Nonlinear behavior analyses are taken as numerical examples. Finite element modeling of the whole members is conducted using ANSYS analyzing program. Numerical results show that in-plane eccentricities in beams can be acceptable within a safe region (max. 10cm for this specific case). However, no safe region is found for in-plane eccentricity in columns since the strength loss may be significant. Finally, some suggestions are made for decreasing constructional shortcomings of eccentric connections.*

Keywords In-plane eccentricity, Bracing connections, performance, steel frames

---

* تاریخ تصویب مقاله ۹۰/۷/۹ و تاریخ دریافت نسخه نهایی اصلاح شده ۹۰/۱۱/۱۶

(۱) نویسنده‌ی مسؤول: *کارشناس ارشد* سازه، گروه عمران دانشگاه آزاد اسلامی، واحد بندر عباس.

(۲) دانشیار قطب علمی مهندسی و مدیریت زیرساخت‌ها، دانشکده عمران دانشگاه تهران.

مقدمه

با وجود لرزه‌خیزی بالای اغلب نقاط پر جمعیت کشور و آسیب‌پذیری ساختمان‌ها بر اساس تجربیات زلزله‌های گذشته، هنوز توجه کافی به ساخت و ساز صحیح نمی‌شود. عدم رعایت ضوابط مقررات ملی طرح و اجرای ساختمان‌های فولادی موجب شده است که در زلزله‌های گذشته مثل منجیل، چنگوره، سفیدابه، گلستان، اردبیل و بم خسارت‌های چشمگیری به ساختمان‌های موجود وارد شود[۹]. عدم رعایت ضوابط ذکرشده که معمولاً به علت سهل‌انگاری و یا عدم تسلط مهندس ناظر ایجاد می‌شود باعث به وجود آمدن نگرانی‌های اساسی در این زمینه شده‌است که مجامع علمی و تحقیقاتی کشور سعی در برطرف شدن این مشکلات دارند.

در همین زمینه ریچارد در سال ۱۹۸٦ با مدل‌سازی ٦۰ نمونه‌ی مختلف اجزای محدود به بررسی تنش درصفحه اتصال‌ها وهم‌چنین به بررسی خروج از مرکزیت راستای مهاربندی پرداخت. ریچارد به ایجاد خروج از مرکزیت بین ١٤ تا ۸- اینچ در صفحه اتصال‌هایی با ابعاد مختلف پرداخت. ریچارد نشان داد در حالی که راستای مهاربندی از محل تقاطع میان تار تیر و ستون(نقطه عملکرد) عبور نکند، ابعاد صفحه اتصال به صورت چشمگیری کاهش پیدا می‌کند و این کاهش منجر به مقاومت کمانش بالاتری در صفحه اتصال می‌شود و هنگامی که راستای مهاربندی از نقطه‌ی عملکرد عبور نمی‌کند، لنگری در اتصال به وجود می‌آید که می‌بایست توسط قاب تحمل شود. اگر قاب توسط برنامه‌ی کامپیوتری تحلیل شود، باید یک تیر پیوند در هر اتصال خروج از مرکز قاب مدل شود. در این مطالعه روش دیگری برای مهاربندی که راستای آن از نقطه‌ی عملکرد نمی‌گذشت به کار گرفته شد .در این روش قاب با اتصال خروج از مرکز تحلیل شد و نیروهای اولیه‌ی اعضا به دست آورده شد و سپس با توزیع لنگرها در قاب، نیروی ثانویه‌ی ناشی از خروج از مرکزیت اتصالات به دست آمد و سپس اعضای قاب با ترکیب نیروهای ثانویه و اولیه اعضا به دست آمد [1].

گراس و چاک در سال ۱۹۸۸ به بررسی اتصال خروج از مرکز مهاربند حول محور ضعیف ستون پرداختند. از نتایج جالب توجه این آزمایش‌ها می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

نمونه‌های خارج از مرکز حول محورقوی قادر به تأمین مقاومت بیشتری نسبت به نمونه‌های همگرای مشابه بودند چرا که در این حالت‌ها اندازه‌ی صفحه اتصال مورد استفاده برای مهاربندکوچکتر بود و لنگر ایجادشده بر اثر خروج از مرکزیت نیز توسط اعضای قاب قابل تحمل بود. سختی نمونه‌ی همگرا حول محور قوی بیشتر از نمونه‌ی خارج از مرکز مشابه بود چرا که اگرچه در هر دو، نیروی نهایی اتصال یکسان بود لیکن مدهای خرابی تفاوت داشت. در نمونه‌های خارج از مرکز، ممان ناشی از خروج از مرکزیت تقریباً به نسبت سختی اعضای متصل به گره تقسیم می‌شد. لنگر به وجود آمده به علت خروج از مرکزیت مهاربندی در اتصال حول محور ضعیف بیشتر توسط تیر تحمل می‌شد. لنگری که به علت خروج از مرکزیت در تیر و ستون بوجود می‌آمد به طور قابل ملاحظه‌ای کمتر از لنگر به وجود آمده به علت اتصال صلب تیر به ستون بود [2]. آستانه اصل در سالهای ۱۹۸۹ و ۱۹۹۱ نتایج بارگذاری چرخه‌ای به روی سه نمونه صفحه اتصال با اتصال مهاربندی ۷ را ارائه کرد. در نمونه‌ی(۱)نقطه تلاقی مهاربندها ۲ اینچ بالاتر از محل خط جوش صفحه اتصال به بال تیر بود. در نمونه‌ی(۲)نقطه تلاقی مهاربندها روی خط جوش صفحه اتصال به تیر قرار داشت و در نمونه‌ی(۳)نقطه تلاقی طبق آئین‌نامه‌های متداول ساختمانی در محل میان تار تیر و راستای میان تار مهاربند (نقطه عملکرد)

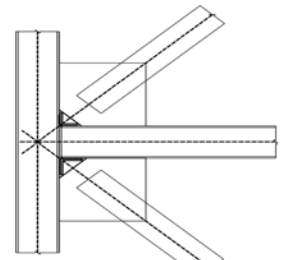
قرار داشت. بررسی نشان داد که در نمونه‌ی(۱) با بیشترین خروج از مرکزیت در صفحه اتصال ، بهترین رفتار و بیشترین شکل پذیری چرخه ای وجود دارد. در این نمونه، نقطه تلاقی اعضای مهاربندی ۲ اینچ بالاتر از بال تیر قرار داشت. در نتیجه ۲ اینچ طول آزاد در صفحه اتصال برای تسلیم برشی وجود داشت. این ناحیه غیر ارتجاعی همانند یک فیوز لرزه‌ای شکل پذیر و مستهلک‌کننده‌ی انرژی عمل کرد. این فیوز می‌تواند مقداری از انرژی موجود در اعضای مهاربندی و قاب‌های مهاربندی را کنترل کند [3,4]. همچنین آستانه اصل نشان داد که کمانش خارج از صفحه، صفحات اتصال و رشد نامناسب مفاصل پلاستیک در صفحه اتصال منجر به کاهش ظرفیت باربری و شکل‌پذیری اعضای مهاربندی می‌شود [5,6].

در سال ۲۰۰۸ حسینی هاشمی و همکاران به بررسی اتصال خارج از مرکز در مهاربندی شورون و قطری پرداختند. در این گزارش محققان با مقایسه بین مدل‌های همگرا و غیر همگرا نشان دادند که خروج از مرکزیت تا حدی باعث افزایش شکل‌پذیری و افزایش استهلاک انرژی می‌شود وعلت این امر آن است که طول لبه‌های آزاد صفحه اتصال کوچک شدند و محل تلاقی بادبندها و تیر بالای خط جوش بود. با کاهش طول لبه‌های آزاد صفحه اتصال، مقاومت کمانشی صفحه اتصال افزایش یافت و از طرف دیگر منطقه مذکور همانند یک فیوز شکل‌پذیر، مانند مهاربندی واگرا عمل کرد. این افزایش شکل‌پذیری به علت محدود کردن تغییر شکل های خارج از صفحه و گسترش کرنش پلاستیک در صفحه‌ای بزرگتر در صفحه اتصال ایجاد شد [7]. به همین علت در پژوهش حاضر سعی شده است که یک مورد از موارد نقاط ضعف اجرایی که ناشی از خروج از مرکزیت درون صفحه‌ای اتصال مهاربند به صفحه اتصال (عدم عبور راستای مهاربند از محل تقاطع میان تار تیر و ستون) که موجب خروج از مرکزیت ناخواسته راستای مهاربند در انتهای تیر و یا ستون می‌شود مورد بررسی قرار گیرد. در پژوهش حاضر به بررسی خروج از مرکزیت درون صفحه‌ای عبوری از تیر و ستون در قاب‌های با زاویه مهاربندی ۳۰ و ٤٥ درجه با اتصال مفصلی تیر به ستون پرداخته شده است. قابل ذکر است که ابعاد صفحه اتصال بر خلاف کارهای پژوهشی ذکرشده یکسان فرض شده است. جزئیات به کار رفته در این مقاله (به کاربردن نبشی‌های اتصال به همراه ورق اتصال مهاربند با خروج از مرکزیت) به هیچ عنوان مورد تایید نیست و صرفاً چون در اجرا به اشتباه به کار برده می‌شود در این مقاله مورد بررسی قرار گرفته است.

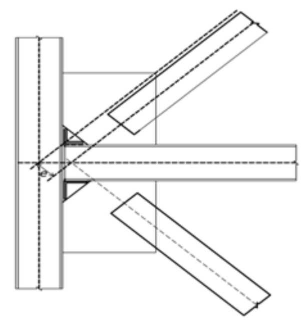
مطالعه‌ی عددی

در پژوهش حاضر با توجه به این که مطالعه در اعضای مجاور صفحه اتصال اهمیت ویژه‌ای دارد، زیر سازه مدل شده شامل اجزای اتصال و اعضای مجاور (تیر و ستون) می‌باشد. زیر سازه‌های مدل‌سازی شده، قاب‌های یک دهانه، دو طبقه با مهاربند قطری با زوایای مهاربندی ۳۰و ٤٥ درجه می‌باشد. در هر قاب با زاویه مهاربندی مشخص، شش نوع خروج از مرکزیت درون صفحه‌ای اعمال شد. در سه مدل آن خروج از مرکزیتی برابر ۵ ،۱۰و۱۵ سانتی‌متر (راستای مهاربندی به جای این که از محل تقاطع میان تار تیر و ستون عبور کند از تیر عبور می‌کند) (شکل۲) و در سه مدل دیگر خروج از مرکزیتی برابر ۵- ،۱۰- و ۱۵- (راستای مهاربندی از ستون عبور می‌کند) (شکل۳) اعمال شد. سایز مش‌بندی در محل اتصال صفحه اتصال به تیر و ستون نسبت به سایر قسمت‌های مدل ریزتر در نظر گرفته شد تا بتوان اثرات خروج از

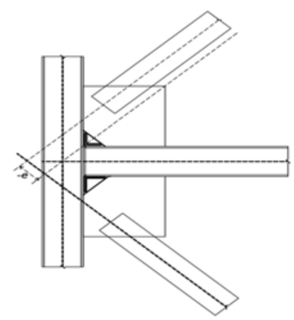
مرکزیت را در این نواحی دقیق‌تر بررسی کرد (شکل٤).



شکل ۱ قاب با اتصال همگرا



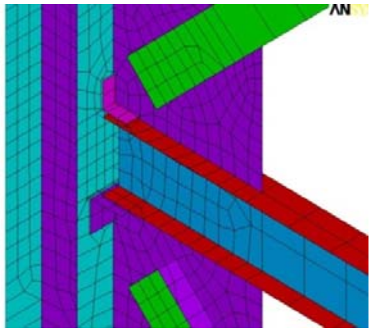
شکل ۲ قاب با خروج از مرکزیت اعمالی در تیر



شکل ۳ قاب با خروج از مرکزیت اعمالی در ستون



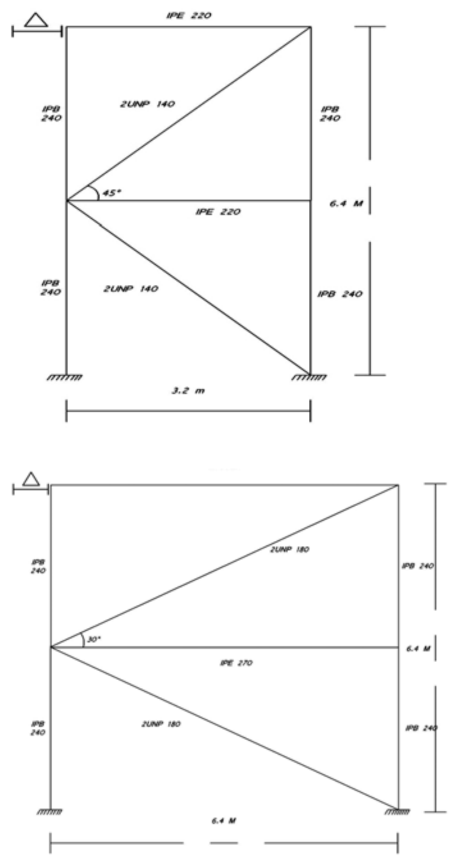
شکل ٤ نحوه‌ی مش‌بندی قاب مورد مطالعه



شکل ۵ نحوه مدل سازی اتصال مفصلی

جهت مدل‌سازی اتصال مفصلی، یک GAP دو سانتی‌متری بین تیر و ستون ایجاد شد. برای جلوگیری از حرکت ستون به سمت تیر در حین بارگذاری از جزء CONTACT 52 استفاده شد.همچنین برای اتصال تیر و ستون از نبشی نشیمن و نبشی نگهدارنده طبق آئین‌نامه استفاده شد (شکل ۵). برای متصل کردن نبشی‌ها به تیر و ستون از دستور COUPLE استفاده شد. برای جلوگیری از حرکت نبشی ها به سمت تیر و ستون در حین بارگذاری، جزء CONTACT 52 بین دو صفحه نبشی و تیر و هم‌چنین نبشی و ستون مدل‌سازی شد. جزء CONTACT 52 در حین بارگذاری در جهت فشاری طبق سختی معرفی‌شده مقاومت لازم را دارد و در کشش آزادانه عمل می‌نماید.برای مدل‌سازی صفحات اجزای مختلف تشکیل‌دهنده‌ی قاب از جزء پوسته‌ای SHELL 181 استفاده شده است. جزء SHELL 181 برای تحلیل ورق‌های با ضخامت کم و متوسط مناسب می‌باشد. این جزء دارای چهار گره با شش درجه آزادی در هر گره می‌باشد و برای تحلیل‌های خطی، غیرخطی، تغییرشکل‌های بزرگ و دوران‌های بزرگ مناسب می‌باشد. همچنین این جزء یکی از سریع‌ترین اجزا برای همگرایی در حالت کمانش‌های غیرخطی است [8]. مقاطع تیر و ستون و مهاربندی و ارتفاع و عرض دهانه‌ی قاب‌های مدل‌سازی‌شده مطابق شکل (٦) می‌باشد. ابعاد قاب طبق ادبیات فنی موجود به گونه‌ای توسط تحلیل

استاتیکی غیرخطی در نرم‌افزار SAP مطابق آیین‌نامه FEMA-356 طراحی شدند. در این‌صورت سازه فرصت کافی برای ورود به ناحیه‌ی غیرخطی را دارد و می‌توان اثرات کرنش پلاستیک را در آن بررسی کرد. ابعاد صفحه اتصال در قاب‌های با زاویه مهاربندی ٤٥ درجه، ۰/۵۵×۰/۵۵×۰/۰۱ m و در قاب‌های با زاویه مهاربندی ۳۰ درجه، ۰/٦٥×۰/٦٥×۰/۰۱۲m می‌باشد.



شکل ٦ نمای کلی قاب‌های مورد مطالعه تحت تغییر مکان Δ در بام

شرایط مرزی و محل اعمال بار در مدل‌های مورد مطالعه مطابق شکل (٦) می‌باشد. در این مدل‌ها از دو تکیه‌گاه صلب در پایین قاب استفاده شد و یک تغییرمکان جانبی در محل نمایش داده‌شده اعمال گردیده است .تغییر مکان‌ها به صورت تدریجی و گام به گام به سازه وارد گردیده است تا سازه به اندازه‌ی تغییر مکان هدف تغییر شکل یابد. برای مدل‌سازی نقش مهارکننده‌ی کف‌ها بر تیرها، بال بالایی تیرهای هر دو طبقه در جهت عمود بر محور قاب مقید شدند، همچنین برای ایجاد رفتار یکپارچه‌ی هر طبقه، ستون‌های هر طبقه در تراز نهایی همان طبقه مقید شدند. فرضیات اساسی برای ساده‌سازی خصوصیات مکانیکی فولاد عبارتند از: مدول الاستیسیته: ۲۱۰ GPa، نسبت پواسون: ۰/۳، تنش تسلیم: ۲٤۰MPa و $E_{t=0.01E}$.

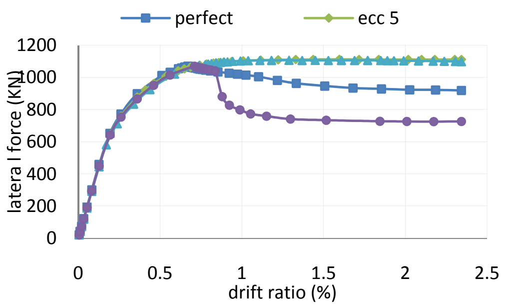
بررسی نتایج تحلیل بار افزون

نتایج حاصل از تحلیل نمونه‌های با اتصال خارج از مرکز عبوری از تیر. مدل‌های دارای خروج از مرکزیت ۵ و۱۰ و ۱۵ سانتی‌متر تحت بارگذاری بار افزون قرار گرفتند و نمودار پوش آن‌ها در قاب‌های با زاویه‌ی مهاربندی ٤٥ و۳۰ درجه مطابق شکل‌های (۸ و ۷) می‌باشد. مطابق شکل‌های (۸ و ۷) نمونه‌های با خروج از مرکزیت ۵ و۱۰ سانتی‌متر رفتاری تقریباً مشابه با افزایش تغییرمکان جانبی از خود نشان دادند که این رفتار با توجه به افزایش ۱۷ و ۲۷ درصدی مقاومت نهایی سازه به ترتیب در شکل‌های (۸ و ۷) نسبت به مدل همگرا، نشان‌دهنده‌ی عملکرد نامطلوبی تا خروج از مرکزیت ۱۰ سانتی‌متر نبود. علت آن را می‌توان جابه جایی محل اتصال مهاربند به صفحه‌ی اتصال و حرکت آن به سمت میانه‌ی دهانه‌ی تیر و عملکرد مهاربند به عنوان مهار جانبی برای تیرطبقه‌ی اول ذکر نمود. به همین دلیل چرخش تیر و صفحه اتصال در ناحیه اعمال خروج از مرکزیت حول محور طولی تیر نسبت به مدل همگرا کاهش یافت (شکل۹-الف و ۹-ب)؛ اما با گذر از خروج از مرکزیت ۱۰ سانتی‌متر و رسیدن به خروج از مرکزیت ۱۵ سانتی‌متری، طول اتصال مهاربند به صفحه اتصال کاهش یافت و به همین دلیل نقش مهاری مهاربند کاهش و چرخش حول محور طولی تیر افزایش یافت

(شکل ۹-ج). این امر موجب کمانش خارج از صفحه‌ی مهاربند و افت ۲۰ درصدی مقاومت در قاب با مهاربندی ۴۵ درجه و کاهش ۴۰ درصدی شکل‌پذیری در قاب با مهاربندی ۳۰ درجه شد.

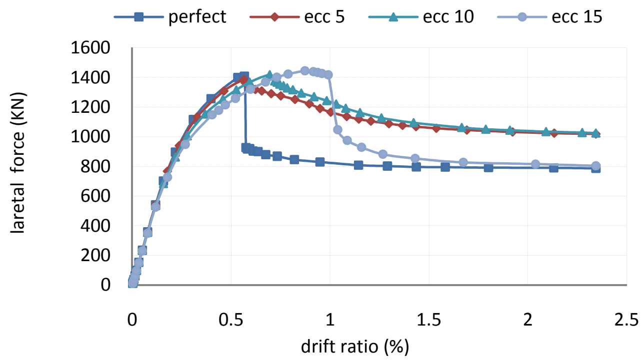
در شکل (۱۱) توزیع کرنش پلاستیک معادل فون مسیز نمونه‌ها در طول ناحیه اعمال خروج از مرکزیت (شکل ۱۰) در محل تیر طبقه اول نشان داده شده است.

برای بررسی، بهتر این ناحیه به دو بخش تقسیم شد. ناحیه‌ی اول مربوط به طولی‌است که از ابتدای چشمه اتصال شروع می‌شود و تا پشت بال ستون ادامه می‌یابد و برابر ۲۴ سانتی متر است (شکل ۱۰). مطابق شکل (۱۱-الف) مشاهده شد که در ناحیه‌ی اول با افزایش خروج از مرکزیت و دور شدن محل تقاطع میان تار مهاربندها از مرکز چشمه اتصال، کرنش پلاستیک کاهش یافت. علت این عمر همان طور که ذکر شد، دور شدن محل تقاطع میان تارهای مهاربندها از مرکز چشمه اتصال و انتقال نیروی محوری مهاربند از مرکز چشمه اتصال به خارج از چشمه اتصال می‌باشد. با رسیدن به بال ستون به دلیل باز توزیع تنش افزایش سطح تسلیم به وجود آمد که باعث کاهش کرنش پلاستیک شد. در ناحیه‌ی دوم که از ابتدای بال ستون شروع می‌شود و تا انتهای صفحه اتصال ادامه می‌یابد، مشاهده شد که با افزایش خروج از مرکزیت، کرنش پلاستیک در همه‌ی نمونه‌ها در نقطه‌ای واحد افزایش می‌یابد؛ به خصوص که در خروج از مرکزیت ۱۵ سانتی‌متری، افزایش چشمگیر کرنش پلاستیک مشاهده شد که می‌تواند دلیلی بر بحرانی بودن این خروج از مرکزیت باشد. همچنین در کلیه نمونه های دارای خروج از مرکزیت، افت شدید کرنش پلاستیک پس از گذر از نقطه‌ی بحرانی که نقطه‌ای به فاصله ٤٤ سانتی‌متر از ابتدای چشمه اتصال و تقریباً در وسط طول ، صفحه اتصال به تیر می‌باشد مشاهده شد. با توجه به قرار گرفتن نقطه‌ی بحرانی کرنش پلاستیک همه‌ی نمونه‌ها در یک نقطه و قرار گرفتن آن تقریباً در وسط طول صفحه اتصال، می‌توان کرنش پلاستیک این ناحیه را با نصب سخت‌کننده کاهش داد و رفتار مطلوب‌تری از سازه انتظار داشت. تنها تفاوت نحوه‌ی توزیع کرنش پلاستیک‌ها در دو زاویه‌ی ٤ و ۳۰ درجه مهاربندی، محل حداکثر کرنش پلاستیک و مقدار آن می‌باشد.

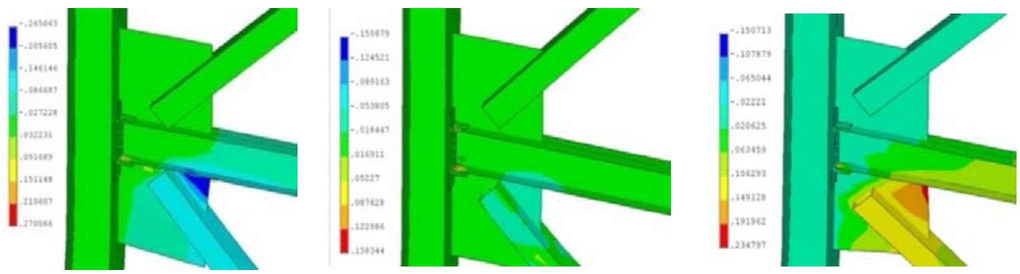


شکل ۷ مقایسه نمودارهای پوش خروج از مرکزیت عبوری از تیر در قاب با مهاربندی ٤٥ درجه

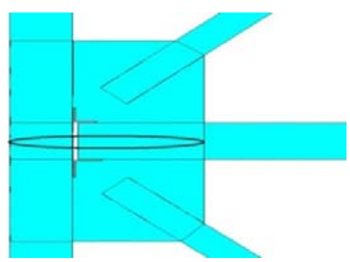
همان‌طور که در نمودار توزیع کرنش پلاستیک مهاربندی ٤٥ درجه مشاهده شد، در همه‌ی نمونه‌ها، مقادیر حداکثر کرنش پلاستیک در نقطه‌ای خاص و واحد بود؛ اما در مهاربندی ۳۰ درجه مشاهده شد که در خروج از مرکزیت‌های مختلف، محل حداکثری کرنش پلاستیک متفاوت است و با افزایش مقادیر خروج از مرکزیت، محل حداکثری کرنش پلاستیک به سمت میانه‌ی دهانه جابه جا می‌شود(شکل ۱۱ ب). به همین خاطر در خروج از مرکزیت ۱۵ سانتی‌متر و احتمالاً بالاتر، در مهاربندی ۳۰ درجه با جا به جا شدن کرنش‌های پلاستیک به سمت میانه‌ی دهانه‌ی تیر، سازه به سمت رفتاری نامطلوب و تخریبی پیش می‌رود. هم‌چنین کرنش پلاستیک معادل در خروج از مرکزیت ۱۵ سانتی‌متری، قاب با مهاربندی ۳۰ درجه حدود ۵۰ درصد بیشتر از خروج از مرکزیت مشابه در قاب با مهاربندی ٤٥ درجه می‌باشد که نشان دهنده‌ی بحرانی‌تر بودن خروج از مرکزیت عبوری از تیر در قاب با مهاربندی ۳۰ درجه نسبت به قاب با مهاربندی ٤٥ درجه می‌باشد.



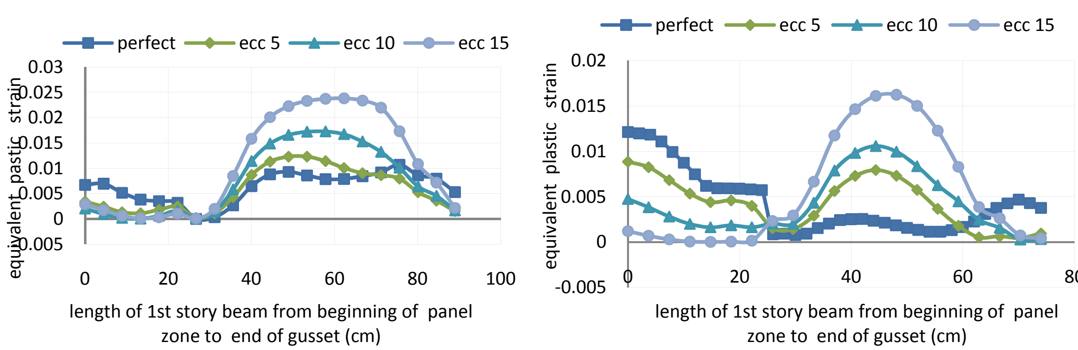
شکل ۸ : مقایسه‌ی نمودارهای پوش خروج از مرکزیت عبوری از تیر در قاب با مهاربندی ۳۰ درجه



شکل ۹ مقایسه‌ی کانتور دوران حول محور طولی تیر در نمونه‌ی همگرا و نمونه‌های دارای خروج از مرکزیت ۱۰ و ۱۵ سانتی‌متری در قاب با مهاربندی ٤۵ درجه



شکل ۱۰ محل بررسی توزیع کرنش پلاستیک معادل در خروج از مرکزیت عبوری از تیر

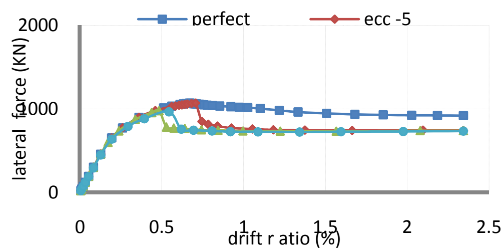


ب : قاب‌های مهاربندی ۳۰ درجه

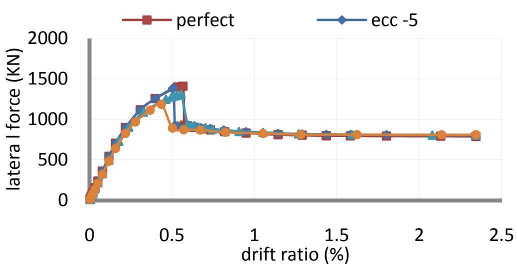
الف : قاب‌های مهاربندی ٤۵ درجه

شکل ۱۱ توزیع کرنش پلاستیک معادل در طول ناحیه‌ی اعمال خروج از مرکزیت عبوری از تیر در قاب‌های با مهاربندی ٤۵ و ۳۰ درجه

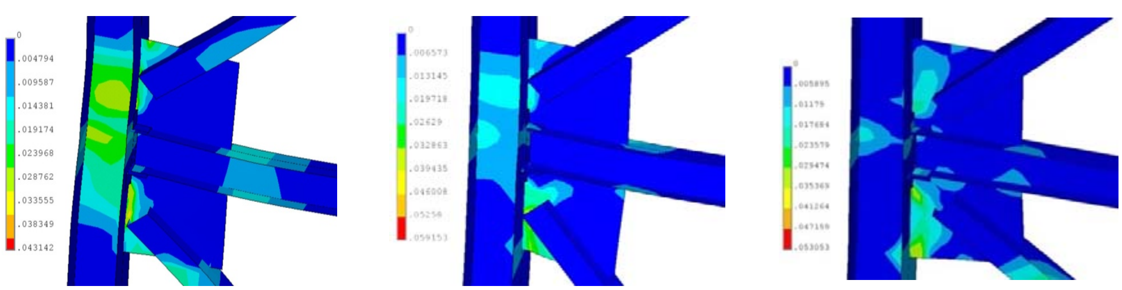
نتایج حاصل از تحلیل نمونه‌های با اتصال خارج از مرکز عبوری از ستون. مدل‌های دارای خروج از مرکزیت ۵- و۱۰- و۱۵- سانتی‌متر تحت بارگذاری بار افزون قرار گرفتند و نمودار پوش آنها در قابهای با زاویه مهاربندی ۴۵ و۳۰ درجه مطابق شکل های (۱۳ و۱۲) می باشد. همان طور که در شکل (۱۲) مشاهده می‌شود در هر سه نمونه‌ی دارای خروج از مرکزیت، مقاومت نهایی به طرز چشمگیری و حدود ۲۰ درصد کاهش پیدا کرد. کاهش مقاومت نهایی نمونه‌های خروج از مرکز به علت کمانش خارج از صفحه مهاربند فشاری طبقه اول می‌باشد. در نمونه با خروج از مرکزیت ۵- سانتیمتر، کاهشی در مقاومت حد تسلیم مشاهده نشد؛ اما در نمونه‌های با خروج از مرکزیت ۱۰- ، ۱۵- سانتی متر به علت رشد مفاصل پلاستیک در ستون (شکل های ١٤ ب و ١٤ ج) نمونه‌ها دچار کاهش ۱۰ درصدی مقاومت حد تسلیم شدند. در قابهای با زاویه مهاربندی ۳۰ درجه با افزایش خروج از مرکزیت به ترتیب مقاومت حد تسلیم ۲ ، ۷ و ۱۵ درصد کاهش یافت. شکل (۱۳)؛ که علت را می‌توان همانند مهاربندی ٤٥ درجه، افزایش رشد مفاصل پلاستیک با افزایش مقادیر خروج از مرکزیت بیان کرد. در این نوع از خروج از مرکزیت، قاب‌های دارای مهاربندی ٤٥ درجه با توجه به افت مقاومت و افزایش کمانش خارج از صفحه مهاربند فشاری، رفتاری به مراتب نامطلوب‌تر از قاب‌های دارای مهاربندی ۳۰ درجه از خود نشان دادند. در شکل (١٦) توزیع کرنش پلاستیک معادل فون مسیز نمونه‌ها در طول ناحیه‌ی اعمال خروج از مرکزیت عبوری از ستون (شکل ١٥) نشان داده شده است.



شکل ١٢ : مقایسه‌ی نمودارهای پوش خروج از مرکزیت عبوری از ستون در قاب با مهاربندی ٤٥ درجه

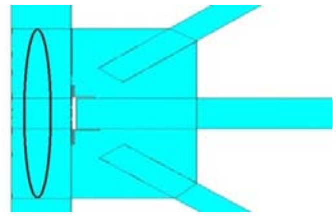


شکل ١٣ : مقایسه‌ی نمودارهای پوش خروج از مرکزیت عبوری از ستون در قاب با مهاربندی ۳۰ درجه



الف) قاب بدون خروج از مرکزیت　　ب) قاب با خروج از مرکزیت ۱۰- سانتی‌متری　　ج) قاب با خروج از مرکزیت ۱۵- سانتی‌متری

شکل ١٤ مقایسه‌ی کانتور کرنش پلاستیک معادل در نمونه‌ی همگرا و نمونه‌های دارای خروج از مرکزیت ۱۰- و ۱۵- سانتی‌متری در قاب با مهاربندی ٤٥ درجه



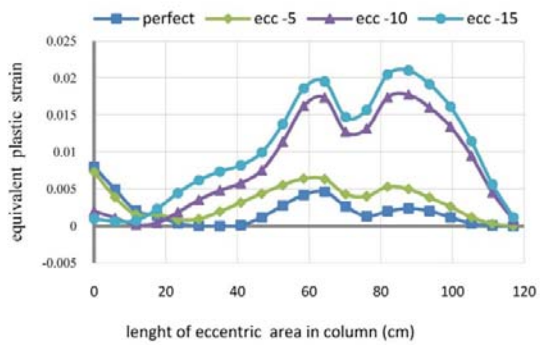
شکل ۱۵ محل بررسی توزیع کرنش پلاستیک معادل در خروج از مرکزیت عبوری از ستون

همان طور که در شکل (١٦-الف) مشاهده می‌شود در قاب‌های بـا مهاربنـدی ٤٥ درجـه بـا افـزایش مقـادیر خروج از مرکزیت، مقادیر کرنش پلاستیک در ناحیـه‌ی اعمال اتصال خارج از مرکز افزایش یافت. این افـزایش در خـروج از مرکزیـت ۱۵- سـانتی‌متـری بـه طـور چشمگیری مشاهده شـد. هـم‌چنـین در قـاب‌هـای بـا مهاربنـدی ۳۰ درجـه بـا افـزایش مقـادیر خـروج از مرکزیت ، مقادیر کرنش پلاسـتیک در ناحیـه‌ی مزبـور افزایش یافت (شکل ١٦ب) . این افـزایش، در خـروج از مرکزیت ۱۰- و ۱۵- سانتی‌متر به طـور چشـمگیری افزایش یافت. همان طور که گفته شـد علـت آن رشـد مفاصل پلاستیک در محل مزبور می‌باشد. بنـابراین، در مهاربندی ۳۰ درجه می‌توان خروج از مرکزیـت ۱۰- و ۱۵- سانتی‌متر را خروج از مرکزیت های بحرانی اعلام کرد. با توجـه بـه رشـد مفاصـل پلاسـتیک در سـتون، خروج از مرکزیت بحرانی مطابق شکل‌های (١٦-الـف و ١٦-ب) شرایط نامطلوبی را برای سازه ایجاد می‌کنـد و می‌تواند باعـث ایجـاد طبقـه‌ی نـرم در سـازه شـود. هم‌چنین مقدار حداکثر کرنش پلاسـتیک در خـروج از مرکزیت ۱۵- سـانتی‌متـری در قـاب بـا مهاربنـدی ٤٥ درجه حدود ٤٠ درصـد بیشـتر از خـروج از مرکزیـت مشابه در قاب با مهاربندی ۳۰ درجه می‌باشد که نشـان دهنده‌ی بحرانی‌تر بودن خروج از مرکزیت در قاب‌های با مهاربندی ٤٥ درجه می‌باشد.

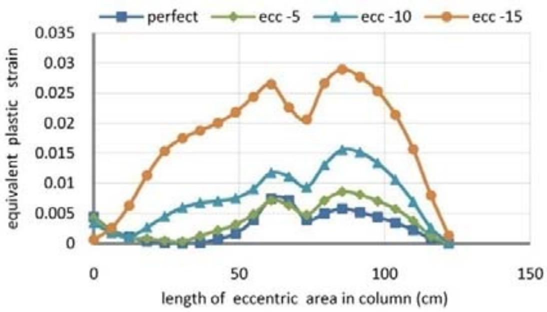
کاهش اثرات نامطلوب خروج از مرکزیت عبوری از تیر در قاب‌های با مهاربندی ٤٥ درجه. با توجـه بـه شکل‌های (۷ و ۱۱-الف) و نتایج بررسی شده، نمونه‌ی با خروج از مرکزیت ۱۵ سانتی‌متری، نمونـه‌ی بحرانـی شناخته شد. با توجه به ناحیه‌ای که کرنش پلاستیک در نمونه‌ی ذکرشده حداکثر می باشـد (شـکل ۱۹)، بـرای کـاهش مقـادیر کـرنش پلاسـتیک در ناحیـه بحرانـی، سخت‌کننده هایی به ضخامت یک سانتی‌متر بین دو بال تیـر طبقـه اول در ناحیـه اعمـال خـروج از مرکزیـت مدل‌سازی شد(شکل۱۷). ٤ سخت‌کننده‌ها به فاصـله‌ی تقریبی ۵ سانتی متر از هم در میانـه‌ی طـول صـفحه‌ی اتصال مدل‌سازی شد و پس از بارگذاری بـار افـزون ، نمودار بار افزون ، مدل با سخت‌کننده رسم شد (شـکل ۱۸). همان‌طور که در شکل (۱۸) مشاهده می‌شود افت مقاومـت در مـدل دارای خـروج از مرکزیـت بـدون سخت‌کننده نسبت به مـدل همگـرا ۲۰٪ مـی‌باشـد در حالی‌که این افت مقاومـت بـا نصـب سـخت‌کننـده در ناحیه‌ی اعمالی خروج از مرکزیت به ۱۳٪ کاهش یافت و هم‌چنین با توجه به شـکل (۱۹) کـه نشـان‌دهنـده‌ی نحـوه‌ی توزیـع کـرنش پلاسـتیک در طـول چشـمه‌ی اتصال و صفحه‌ی اتصال می‌باشد، مشاهده شد با نصب سـخت‌کننـده در ناحیـه‌ی اعمـال خـروج از مرکزیـت مقـادیر کـرنش پلاسـتیک در ناحیـه مـذکور کـاهش چشمگیر ٤٥ درصدی دارد.

کاهش اثرات نامطلوب خروج از مرکزیت عبوری از ستون در قاب‌های با مهاربندی ٤٥ درجه. بـا توجـه به بررسی انجام‌شـده و نتـایج بـه‌دسـت‌آمـده، همـه‌ی مدل‌هایی که راستای خروج از مرکزیت اعمالی آن‌ها از ستون می‌گذشت عملکـرد مناسبی نسبت بـه حالـت همگرا از خود نشـان ندادنـد؛ خصوصاً نمونـه‌ای کـه دارای حداکثر خروج از مرکزیـت (۱۵- سـانتی متـر) بود به همین علت با نصب دو سخت‌کننـده در میانـه‌ی امتداد دو صفحه اتصال در راسـتای سـتون (شـکل۲۰) سـعی در بهبـود عملکـرد نمونـه‌ی دارای خـروج از

مرکزیت ۱۵- سانتی‌متری شد. با توجه به شکل (۲۱) مشاهده شد که با نصب سخت‌کننده، افت مقاومت نمونه‌ی دارای سخت‌کننده نسبت به مدل همگرا به ۱۲٪ کاهش یافت در حالی که در نمونه‌ی بدون سخت‌کننده این افت مقاومت ۲۰٪ می‌باشد.هم‌چنین با توجه به شکل (۲۲) که نشان‌دهنده نحوه‌ی توزیع کرنش پلاستیک در امتداد دو صفحه اتصال در راستای ستون می‌باشد. مشاهده شد که با نصب دو سخت‌کننده در ناحیه‌ی اعمال خروج از مرکزیت در میانه‌ی طول صفحه‌ی اتصال، مقادیر کرنش پلاستیک در ناحیه‌ی مذکور ٦٠٪ نسبت به مدل دارای خروج از مرکزیت ۱۵- سانتی‌متری بدون سخت کننده کاهش پیدا کرد.

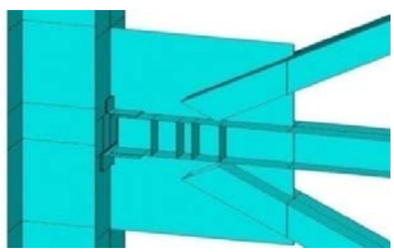


الف) قاب‌های با مهاربندی ٤۵ درجه

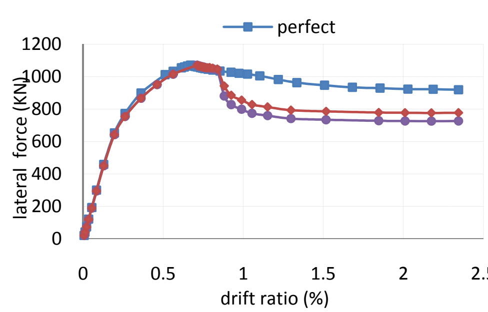


ب) قاب‌های با مهاربندی ۳۰ درجه

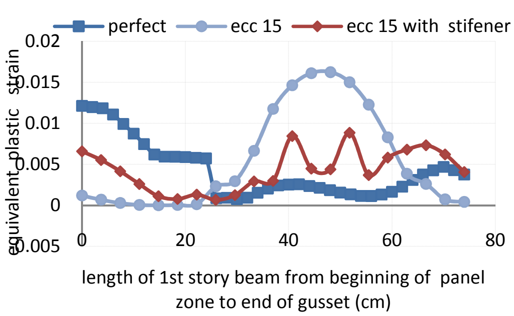
شکل ۱٦ توزیع کرنش پلاستیک معادل در طول ناحیه‌ی اعمال خروج از مرکزیت عبوری از ستون در قاب‌های با مهاربندی ٤۵ و ۳۰ درجه



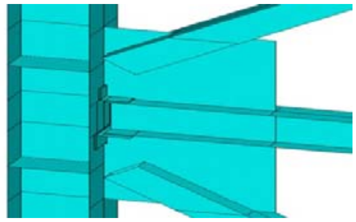
شکل ۱۷ قاب با خروج از مرکزیت ۱۵ سانتی‌متری با سخت‌کننده



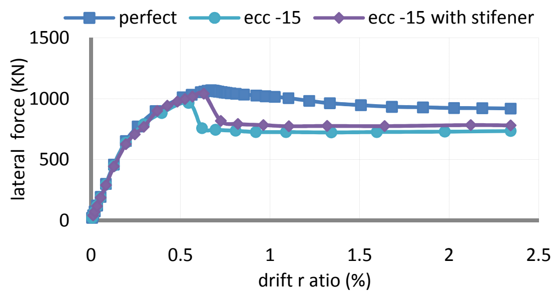
شکل ۱۸ مقایسه‌ی نمودارهای پوش خروج از مرکزیت ۱۵ سانتی‌متری با و بدون سخت‌کننده



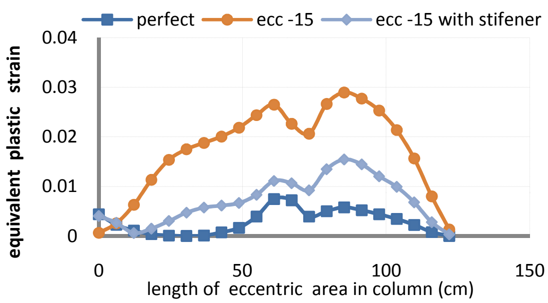
شکل ۱۹ مقایسه‌ی نحوه‌ی توزیع کرنش پلاستیک معادل خروج از مرکزیت ۱۵ سانتی‌متری با و بدون سخت‌کننده



شکل ۲۰ قاب با خروج از مرکزیت ۱۵- سانتی‌متری با سخت‌کننده



شکل ۲۱ مقایسه‌ی نمودارهای پوش خروج از مرکزیت ۱۵- سانتی‌متری با و بدون سخت‌کننده



شکل ۲۲ مقایسه‌ی نحوه‌ی توزیع کرنش پلاستیک معادل خروج از مرکزیت ۱۵- سانتی‌متری با و بدون سخت‌کننده

نتیجه گیری

بررسی نشان داد که حاشیه‌ی اطمینانی برای عدم رعایت قوانین آیین‌نامه در قاب‌های دارای خروج از مرکزیت درون صفحه‌ای عبوری از تیر وجود دارد. در این منطقه‌ی امن، با افزایش خروج از مرکزیت تا ۱۰ سانتی‌متر، عملکرد نامطلوبی مشاهده نشد و افزایش ۱ و ۱۷ درصدی مقاومت حد تسلیم و مقاومت نهایی سازه نسبت به مدل همگرا مشاهده شد. اما با خروج از این منطقه‌ی امن افزایش چشمگیر تغییر مکان خارج از صفحه مهاربند فشاری و در نتیجه افت مقاومت مشاهده شد. خروج از مرکزیت درون‌صفحه ای عبوری از تیر در خارج از منطقه‌ی امن (۱۵سانتی‌متر) در قاب‌های با مهاربندی ۳۰ درجه به علت بیشتر بودن مقادیر کرنش پلاستیک معادل آن‌ها در نقطه‌ی بحرانی و هم‌چنین کاهش ۴۰ درصدی شکل پذیری آن نسبت به مدل همگرا، از خروج از مرکزیت عبوری از تیر در قاب‌های با مهاربندی ۴۵ درجه بحرانی‌تر شناخته شد.

در خروج از مرکزیت درون صفحه‌ای عبوری از ستون هیچ گونه حاشیه‌ی اطمینان و منطقه‌ای امن برای عدم رعایت قوانین آیین‌نامه مشاهده نشد و نمونه‌ها با ایجاد کوچک‌ترین خروج از مرکزیت با افت ۲۰ درصدی مقاومت نهایی مواجه شدند. در این نوع از خروج از مرکزیت قاب‌های دارای مهاربندی ۴۵ درجه با توجه به افت مقاومت و افزایش تغییر مکان خارج از صفحه‌ی مهاربند فشاری، عملکردی به مراتب نامطلوب‌تر از قاب‌های دارای مهاربندی ۳۰ درجه از خود نشان دادند. همچنین مقدار حداکثر کرنش پلاستیک در خروج از مرکزیت ۱۵- سانتی‌متری در قاب با مهاربندی ۴۵ درجه حدود ۴۰ درصد بیشتر از خروج از مرکزیت مشابه در قاب با مهاربندی ۳۰ درجه شد که نشان دهنده‌ی بحرانی‌تر بودن خروج از

مرکزیت عبوری از ستون در قاب‌های با مهاربندی ٤٥ درجه می‌باشد.

در مقایسه‌ی خروج از مرکزیت درون‌صفحه‌ای عبوری از تیر و عبوری از ستون، قاب‌های دارای خروج از مرکزیت عبوری از ستون به مراتب عملکرد نامطلوب‌تری نسبت به خروج از مرکزیت عبوری از تیر از خود نشان دادند.

با نصب سخت کننده در مدل‌های دارای خروج از مرکزیت درون‌صفحه‌ای عبوری از تیر در ناحیه‌ی بحرانی (۱۵ سانتی‌متر) افت مقاومت نسبت به نمونه‌ی همگرا مشابه از ۲۰ درصد به ۱۳ درصد کاهش پیدا کرد. هم‌چنین مقادیر کرنش پلاستیک هم در ناحیه‌ی مذکور کاهش چشمگیر ٤٥ درصدی پیدا کرد. هم‌چنین این سخت‌کننده‌ها در مدل‌های دارای خروج از مرکزیت درون‌صفحه‌ای عبوری از ستون افت مقاومت را نسبت به نمونه‌ی همگرا از ۲۰ درصد به ۱۲ درصد کاهش دادند و باعث کاهش ٦۰ درصدی مقادیر کرنش پلاستیک معادل در ناحیه‌ی بحرانی نسبت به حالت بدون سخت‌کننده شدند .

مراجع

1. Richard, R. M., "Analysis of large Bracing Connection Designs for Heavy Construction ", *National Steel Construction Conference Proceedings, American Institute of Steel Construction, Chicago, Illinois*, pp. 31.7-31.24, (1986).
2. Gross, J. L., and Cheock, G., "Experimental Study of Gusseted Connections for Laterally Braced Steel Building ", *National Institute of Standard and Technology, Gathersburg , Maryland*., (1988).
3. Astaneh-Asl, A., "Cyclic Tests and Seismic Design of Steel Gusset Plate in Buildings*", proceedings of the 3rd International Conference on Seismology and Earthquake Engineering(SEE3), Tehran, I.R. Iran*., (1999).
4. Astaneh- Asl, A., "Seismic Behavior and Design of steel Gusset plates", *Steel tips , AISC*., (1998).
5. Astaneh-Asl, A., Subhash, A. M., and Hanson, R. D., "Cyclic out – of – plane Buckling of Double Angle Bracing ", *Journal of structural Engineering* Vol. 111, No. 5, Paper No. 19727, (1984).
6. Astaneh-Asl, A., Goel, S. C., "Cyclic In – plane Buckling of Double Angle Bracing", *Journal of structural Engineering*, ASCE, 110(9), pp. 1135-1153, (1990).
7. Hosseini Hashemi, B., Behnamfar, F., Ranjbaran, F., "Effects of Local Eccentricity of Connecting Braces on Nonlinear Behavior of Steel Concentric Brace Connections", *journal of Seismology and Earthquake Engineering* (JSSE), Vol. 10, No. 2, pp. 91-99, (2008).
8. ANSYS User's Manual, Elements, Volume III. Swanson Analysis Systems, Inc, (2006).

۹. زهرائی، سید مهدی، «بررسی علل ضعف اجرای ساختمان‌های فولادی در کشور » پژوهشنامه ی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، ، سال ششم، ش دو، ت، (۱۳۸۲).